

FERMENTASI BIOETANOL MENGGUNAKAN *Saccharomyces cerevisiae* PADA PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

FERMENTATION OF BIOETHANOL WITH *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN OIL PALM FRONDS (*Elaeis guineensis* Jacq.) AS ALTERNATIVE FUEL

Ameiga Cautsarina Putri Atrinto¹, Nur Hidayat², dan Yusron Sugiarto³

¹Alumni Teknologi Industri Pertanian – Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya

Email : ameigaputri@gmail.com

²Dosen Teknologi Industri Pertanian – Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya

Email : nurhidayat9@gmail.com

³Dosen Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian – Universitas Brawijaya

Email : yusron_tep@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui berat *Saccharomyces cerevisiae* dan lama fermentasi optimum dalam pembuatan bioetanol pelepah kelapa sawit. Pada penelitian ini, terdapat dua faktor yaitu berat *Saccharomyces cerevisiae* dan lama fermentasi. Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan masing-masing faktor tersusun dari 3 level yaitu berat *Saccharomyces cerevisiae* 0,52 gram, 0,65 gram, 0,78 gram dan lama fermentasi 24 jam, 48 jam, 72 jam. Setiap kombinasi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali sehingga didapatkan 27 sampel. Kemudian, dilanjutkan dengan analisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA) dan uji DMRT 5%. Hasil penelitian dengan menggunakan alkohol meter menunjukkan bahwa perlakuan yang menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* 0,5% dan mengalami fermentasi selama 48 jam mampu menghasilkan kadar etanol tertinggi yaitu 4,03%. Kadar etanol cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya berat *Saccharomyces cerevisiae* dan lama fermentasi.

Kata Kunci: Bioetanol, Fermentasi, Pelepah Kelapa Sawit

ABSTRACT

The purpose of this research are to know optimum weight of yeast and time of fermentation in fermentation process. This research used a Randomized Complete Block Design (RCBD) with two factors in fermentation process, those were *Saccharomyces cerevisiae* percentage with three levels, 0,52 grams, 0,65 grams, 0,78 grams and fermentation time, 24 hours, 48 hours, 72 hours. Each combination repeated three times to obtain 27 samples. Then, treatment experiments were analyzed using two-way ANOVA and conducted further test using the DMRT 5%. The results test by alcohol meter showed that the highest ethanol content 4,03% in combination treatment using *Saccharomyces cerevisiae* 0.65 grams and fermented for 48 hours. Ethanol tends to increase with increasing percentage of *Saccharomyces cerevisiae* and the fermentation time.

Keywords: Bioethanol, Fermentation, Oil palm fronds

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Peningkatan konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) di Indonesia disebabkan oleh tingginya populasi manusia dan pembangunan industri yang sangat pesat. Pada tahun 2010, jumlah produksi minyak di Indonesia hanya berkisar 0,98 juta barel per hari (bph). Selain itu, cadangan minyak bumi di Indonesia juga mengalami penurunan dari tahun 2007

(8,4 milyar bph) ke tahun 2012 (7,4 milyar bph) sebesar 8% (Anonim, 2012). Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kebutuhan energi adalah pengembangan energi alternatif. Salah satunya adalah bioetanol. Bioetanol merupakan sumber energi alternatif pengganti BBM yang terbuat dari proses fermentasi bahan-bahan alami oleh

mikroorganisme (Jeon, 2007). Saat ini, produksi dan permintaan bioetanol dunia mengalami peningkatan setiap tahunnya.

Bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan bioetanol dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu gula, pati, dan selulosa (Ge *et al.*, 2011). Namun, bahan yang menjadi sumber gula dan berpati dapat menimbulkan permasalahan baru jika digunakan secara terus menerus sebagai bahan utama dalam pembuatan bioetanol karena berpotensi dijadikan sebagai bahan pangan sehingga dapat menimbulkan kontradiksi pangan (Lin *et al.*, 2006). Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan bahan alternatif dalam pembuatan bioetanol yaitu pemanfaatan biomassa/lignoselulosa menjadi bioetanol, yang sampai saat ini belum dikembangkan secara optimal (Anindyawati, 2009). Salah satu bahan yang mengandung lignoselulosa adalah pelepah kelapa sawit. Pelepah kelapa sawit merupakan limbah perkebunan kelapa sawit yang mengandung selulosa cukup tinggi (57,9%) dan sampai saat ini belum termanfaatkan secara optimal (Hanim *et al.*, 2010). Ilihat dari potensi ketersediaanya, Indonesia merupakan negara yang memiliki luas perkebunan sawit mencapai 8,9 juta Ha. Setiap hektar kebun sawit akan menghasilkan 6400–7500 pelepah per tahun, sehingga per tahun Indonesia dapat menghasilkan limbah pelepah sawit sebesar 66.750.000.000 pelepah atau sekitar 300.375.000 ton/tahun (Anonim, 2013; Thamrin, 2012).

Dalam proses pembuatan bioetanol dari lignoselulosa diperlukan proses yang cukup panjang yaitu dimulai dari proses *pretreatment*, hidrolisis hingga fermentasi. Proses yang menentukan terbentuknya etanol adalah proses fermentasi. Fermentasi merupakan suatu teknik penanaman substrat dengan penanaman mikroorganisme dan

penambahan mineral dalam substrat yang diinkubasi dalam waktu dan suhu tertentu (Pasaribu, 2007). Salah satu jenis mikroorganisme yang sering digunakan dalam proses fermentasi adalah khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Mikroorganisme ini mampu mengonversi gula menjadi etanol dengan kemampuan konversi yang baik (Putra, 2011). Selain itu, *Saccharomyces cerevisiae* toleran terhadap kadar etanol yang tinggi, mampu hidup pada temperatur tinggi, tetap stabil selama kondisi fermentasi, dan dapat bertahan hidup pada pH rendah (Suyandra, 2007). Dalam pembuatan bioetanol, semakin banyak gula reduksi yang dimanfaatkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* maka semakin tinggi pula kadar etanol yang dapat dihasilkan dan sebaliknya. Jadi sangat memungkinkan dilakukan penelitian pada proses fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada pelepah kelapa sawit yang telah mengalami proses *pretreatment* menggunakan *nanotechnology*. Diharapkan nantinya akan didapatkan etanol dengan kadar yang lebih tinggi. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian Fermentasi Bioetanol sebagai Bahan Substitusi dalam Pembuatan Bahan Bakar Alternatif’.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

- Mengetahui berat optimum *Saccharomyces cerevisiae* dalam proses fermentasi pembuatan bioetanol pelepah kelapa sawit.
- Mengetahui lama fermentasi optimum dalam proses fermentasi pembuatan bioetanol pelepah kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain pelepah kelapa

sawit, NaOH (teknis), H₂SO₄ (merck), biakan murni *Saccharomyces cerevisiae*, aquades, medium YEPDA (*Yeast Extract Pepton Dextrose Agar*) (*yeast extract*, *pepton*, *dextrose*, glukosa), medium YEPDB (*Yeast Extract Pepton Dextrose Broth*) (*yeast extract*, *pepton*, glukosa), *dextrose*, *aluminium foil*, plastik, kertas coklat, dan kapas.

Alat

Alat-alat yang digunakan meliputi pisau, timbangan Precisa XT 120 A, *disk mill*, ayakan 100 mesh, blender Philips, oven, Erlenmeyer 250 ml, gelas ukur 250 ml, *bearker glass* 250 ml, *hot plate and stirrer*, kain saring, *PowerSonic 405*, pipet volume, *bulp*, mikropipet, *refractometer*, spektrofotometer, tabung reaksi, rak tabung reaksi, jarum ose, bunsen, inkubator, *laminar air flow*, *water bath shaker*, *sentrifuge*, *autoclave* (ALP KT-30L/-30 LDP), pH meter (Consort C861), alkohol meter, botol, selang, dan plastisin.

Metode

Rancangan Percobaan

Rncangan percobaan yang digunakan dalam penelitian adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan dua faktor yaitu berat *Saccharomyces cerevisiae* dan lama fermentasi. Setiap kombinasi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Kemudian, dilakukan analisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA) dan uji DMRT 5%.

Tabel 1. Rancangan Penelitian Fermentasi Pelepeh Kelapa Sawit

Berat <i>S. cerevisiae</i> (A)	Lama fermentasi (B)		
	B1	B2	B3
A1	A1B1	A1B2	A1B3
A2	A2B1	A2B2	A2B3
A3	A3B1	A3B2	A3B3

Keterangan:

A = Berat *Saccharomyces cerevisiae* (b/v)

A1 = 0,52 gram/130 mL

A2 = 0,65 gram/130 mL

A3 = 0,78 gram/130 mL

B = Lama waktu fermentasi

B1 = Proses fermentasi selama 24 jam

B2 = Proses fermentasi selama 48 jam

B3 = Proses fermentasi selama 72 jam

Pelaksanaan Penelitian

Proses Pretreatment

Proses *pretreatment* bioetanol pelepeh kelapa sawit menggunakan gelombang ultrasonik telah dilakukan oleh Sugiarto (2014), dengan tahapan sebagai berikut:

- Pelepeh kelapa sawit jenis Tenera yang didapatkan dari Lampung dikumpulkan dan dibersihkan dari kotoran.
- Pelepeh kelapa sawit dipotong menggunakan pisau (± 1 cm) dan dikeringkan dengan oven (suhu 120°C, selama 2 jam).
- Setelah pelepeh kering, pelepeh digiling menggunakan *disk mill* (60 mesh).
- Serbuk pelepeh kelapa sawit diayak menggunakan *electromagnetic shaker* (lolos 75 μ m).
- Larutan NaOH 2 M dibuat dengan cara partikel NaOH ditimbang sebanyak 8 gram dan dihancurkan menggunakan mortal dan alu, lalu dilarutkan pada 100 ml aquades.
- Sebanyak 5 gram serbuk pelepeh kelapa sawit yang lolos ayakan diletakkan pada Erlenmeyer 250 ml yang berisi larutan NaOH 2 M.
- Larutan dihomogenkan menggunakan *hot plate and stirrer* (suhu 110°C selama 2 jam dengan kecepatan 400 rpm).
- Setelah homogen, Erlenmeyer ditutup menggunakan *aluminium foil* dan dimasukkan pada sonikator (50 kHz selama 30 menit).
- Serbuk pelepeh kelapa sawit hasil *pretreatment* dinetralkan menggunakan aquades hingga pH 7.

- j. Serbuk pelepah kelapa sawit netral disaring menggunakan kain saring.
- k. Serbuk pelepah kelapa sawit yang tersaring, dikeringkan menggunakan oven (suhu 70°C selama 2 jam).
- l. Serbuk pelepah kelapa sawit kering langsung digunakan dalam proses hidrolisis.
- c. Sub kultur *Saccharomyces cerevisiae* diambil menggunakan jarum ose dandiinokulasi lagi pada medium YEPDB.
- d. Medium diinkubasi dengan menggunakan *waterbath* selama 18 jam.
- e. Medium disentrifugasi dengan 8000 rpm selama 15 menit.
- f. Khamir yang diperoleh, dicuci dengan cara diberi aquades dan disaring menggunakan kertas saring.
- g. Khamir dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C selama 3 jam.
- h. Setelah kering, khamir ditimbang dengan variasi berat kering sesuai pada proses fermentasi yaitu 0,52 gram, 0,65 gram, dan 0,78 gram.
- i. Khamir digunakan dalam proses fermentasi.

Proses Hidrolisis

Proses hidrolisis bioetanol pelepah kelapa sawit menggunakan asam H_2SO_4 telah dilakukan oleh Rilek (2016), dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Larutan H_2SO_4 0,6 M sebanyak 200 ml dibuat pada Erlenmeyer 250 ml dengan cara penambahan aquades 103,3 ml pada 6,7 ml H_2SO_4 96%.
- b. Larutan H_2SO_4 yang telah dibuat, kemudian dicampurkan dengan 8 gram serbuk pelepah hasil *pretreatment*.
- c. Larutan H_2SO_4 0,6 M yang telah ditambah serbuk pelepah kelapa sawit hasil *pretreatment*, ditutup menggunakan *aluminium foil* pada bagian mulut Erlenmeyer 250 ml.
- d. Erlenmeyer 250 ml yang berisi larutan H_2SO_4 0,6 M dan serbuk pelepah kelapa sawit hasil *pretreatment*, dimasukkan ke dalam *autoclave* (suhu 121,1°C selama 100 menit).
- e. Larutan didiamkan hingga suhunya turun (25-27°C).
- f. Larutan dipisahkan antara ampas dan hidrolisat menggunakan kertas saring.
- g. Hidrolisat yang diperoleh kemudian digunakan pada proses fermentasi.

Persiapan Inokulum

- a. Kultur murni *Saccharomyces cerevisiae* diambil satu jarum ose dan dioleskan secara zig zag pada medium YEPDA.
- b. Medium diinkubasi selama 24 jam.

Proses Fermentasi

- a. Hidrolisat pelepah kelapa sawit yang telah didapatkan dari proses sebelumnya, disimpan dalam Erlenmeyer 250 ml sebanyak 130 ml dan dikondisikan pada pH 4 dengan menambahkan NaOH 1 M (Rani, 2016).
- b. Hidrolisat disterilisasi menggunakan *autoclave* (suhu 121,1°C selama 15 menit).
- c. Hidrolisat yang telah steril, didinginkan dan diinokulasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* dengan variasi berat yang berbeda yaitu 0,52 gram, 0,65 gram, dan 0,78 gram.
- d. Inokulum dibuat dengan menambahkan khamir sebanyak 0,52 gram pada 130 ml hidrolisat dan setiap ml hidrolisat mengandung 0,004 gram khamir.
- e. Inokulum dibuat dengan menambahkan khamir sebanyak 0,65 gram pada 130 ml hidrolisat dan

- setiap ml hidrolisat mengandung 0,005 gram khamir.
- Inokulum dibuat dengan menambahkan *khamir* sebanyak 0,78 gram pada 130 ml hidrolisat dan setiap ml hidrolisat mengandung 0,006 gram khamir.
 - Pada masing-masing perlakuan inokulum ditambah *yeast extract* 0,2% (b/v) (Rani *et al.*, 2010) yaitu dengan cara melarutkan 0,26 gram *yeast extract* pada 130 ml hidrolisat.
 - Inokulum yang telah ditambah *yeast extract*, diinkubasi dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.
 - Proses fermentasi dilakukan dengan menghubungkan Erlenmeyer yang berisi inokulum *Saccharomyces cerevisiae* pada hidrolisat dengan botol menggunakan selang. Inkubasi pada suhu $30 \pm 2^\circ\text{C}$ (Rani *et al.*, 2010).
 - Bagian mulut Erlenmeyer dan botol ditutup rapat menggunakan *aluminium foil* dan plastisin.
 - Setelah diinkubasi, *Saccharomyces cerevisiae* dipisahkan dari hidrolisat dengan cara sentrifugasi (10.000 rpm pada suhu 4°C selama 10 menit).

Analisis

Uji Kadar Etanol

Pengukuran kadar etanol dilakukan menggunakan alkohol meter (Mailool *et al.*, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Fermentasi Hidrolisat Pelepah Kelapa Sawit

Data hasil pengukuran kadar etanol pelepah kelapa sawit menggunakan alkohol meter ditunjukkan pada **Tabel 2**. Diperoleh kadar etanol tertinggi sebesar 4,03% yaitu pada perlakuan penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL dengan fermentasi selama 48 jam.

Tabel 2. Pengaruh perlakuan berat khamir dan lama fermentasi terhadap pembentukan etanol

Faktor A (berat <i>yeast</i>)	Faktor B (lama fermentasi)		
	B1 (24 jam)	B2 (48 jam)	B3 (72 jam)
A ₁ (0,52 gram/130 mL)	3,53 ^c	3,70 ^c	3,81 ^b
A ₂ (0,65 gram/130 mL)	3,71 ^{bc}	4,03 ^a	3,92 ^{ab}
A ₃ (0,78 gram/130 mL)	3,82 ^{bc}	3,91 ^{ab}	3,90 ^b

Keterangan : Superskrip dengan huruf kecil yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

Pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,52 gram/130mL dengan fermentasi selama 24 jam dihasilkan kadar etanol yang masih cukup rendah yaitu 3,53%. Pada kondisi ini khamir masih berada pada fase lag yaitu khamir belum melakukan pembelahan dan lebih banyak melakukan adaptasi dengan lingkungan (Zahara, 2011). Namun, pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL dengan fermentasi selama 24 jam mampu meningkatkan kadar etanol 5,1%. Dari hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa semakin tingginya *Saccharomyces cerevisiae* yang digunakan dalam proses fermentasi dan semakin lamanya proses fermentasi mampu meningkatkan kadar etanol. Kadar etanol yang diperoleh terus mengalami peningkatan hingga tercapainya titik optimum yaitu pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL dengan proses fermentasi berlangsung selama 48 jam. Pada kondisi ini diperoleh etanol 4,03%. Hal ini terjadi karena pada kondisi ini khamir dapat tumbuh drastis dengan banyaknya persediaan nutrisi yang menunjang pertumbuhan khamir sehingga etanol yang dihasilkan semakin tinggi (Khodijah, 2015). Pada keadaan seperti ini, khamir berada pada fase log.

Fase logaritma (pertumbuhan) merupakan fase untuk pembentukan produk etanol dalam jumlah besar (Rizani, 2000).

Pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,78 gram/130 mL dengan proses fermentasi selama 48 jam menghasilkan kadar etanol sebesar 3,91% dan Pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,78 gram/130 mL dengan proses fermentasi selama 72 jam menghasilkan kadar etanol sebesar 3,90%. Pada kondisi ini penambahan lama fermentasi tidak dapat lagi meningkatkan kadar etanol dan kadar etanol yang dihasilkan pada kondisi ini memiliki nilai selisih yang kecil. Pada kondisi seperti ini, khamir berada pada fase *stationary*, dimana khamir yang tumbuh sama dengan khamir yang mati sehingga tidak ada penambahan jumlah khamir yang akan mengubah gula menjadi etanol, jadi etanol yang terbentuk cenderung konstan (Wheals, 1999).

Pada penambahan *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL dengan proses fermentasi selama 72 jam menghasilkan kadar etanol yang lebih rendah yaitu sebesar 3,92%. Hal ini disebabkan banyaknya jumlah khamir yang ditambahkan dalam substrat yang tetap menyebabkan persaingan hidup yang ketat sehingga pemecahan glukosa menjadi etanol semakin berkurang karena adanya khamir yang mati. Pada kondisi seperti ini menurut Syauqiah (2015), berdasarkan fase hidup khamir berada pada fase *decline* (kematian) sehingga khamir tersebut sudah banyak yang mati dan kemampuan sel untuk mengonversi gula menjadi etanol akan semakin menurun, akibatnya etanol yang dihasilkan pun semakin sedikit.

Kondisi lingkungan juga dapat mempengaruhi rendemen bioetanol yang dihasilkan. Jika suhu lingkungan tidak

sesuai dengan suhu pertumbuhan khamir maka dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kinerjanya untuk mengonversi gula menjadi etanol, sehingga proses fermentasi menjadi terganggu dan mempengaruhi jumlah etanol yang dihasilkan.

Kadar etanol yang diperoleh juga dipengaruhi oleh penambahan *yeast extract* 0,2% pada hidrolisat yang digunakan dalam fermentasi sebagai sumber nitrogen untuk nutrisi *Saccharomyces cerevisiae* sehingga dapat meningkatkan kadar etanol yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan Casey (1984) menyatakan bahwa penambahan *yeast extract* ke dalam media fermentasi dapat meningkatkan nitrogen alfa amino bebas (*free alpha amino nitrogen/FAN*). Selain itu, selama proses fermentasi berlangsung, botol fermentasi yang digunakan sebagai fermentor ditutup rapat dan diberi selang agar CO₂ hasil samping dari proses fermentasi dapat dikeluarkan. CO₂ yang dihasilkan dapat mengakibatkan tingginya tekanan di dalam botol fermentor yang mengakibatkan peningkatan suhu. Apabila suhu semakin tinggi, maka *Saccharomyces cerevisiae* tidak dapat bekerja secara optimal sehingga kadar etanol tidak terdeteksi (Rani, 2016).

Analisis ragam pada faktor A, faktor B, dan interaksi faktor A dan B memiliki nilai F hitung lebih besar dari pada F tabel. Hal ini menunjukkan bahwa faktor A (berat *Saccharomyces cerevisiae*) berpengaruh nyata terhadap kadar etanol yang dihasilkan dalam proses fermentasi. Begitu juga dengan faktor B (lama proses fermentasi) berpengaruh nyata terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Interaksi antara kedua faktor juga memiliki pengaruh nyata terhadap perolehan kadar etanol. **Tabel 2.** menunjukkan bahwa persentase kadar etanol tertinggi dihasilkan pada perlakuan A2B2 (penambahan

0,65gram/130 mL *Sacchaoromyces cerevisiae* dengan lama fermentasi 48 jam) yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Persentase kadar etanol terendah dihasilkan pada perlakuan A1B1 (penambahan 0,52 gram/130 mL *Sacchaoromyces cerevisiae* dengan lama fermentasi 24 jam).

Efisiensi Pembentukan Etanol

Data perhitungan efisiensi pembentukan etanol pada perlakuan terbaik (A2B2) yang mampu menghasilkan etanol sebesar 4,03%.

Tabel 3 Efisiensi pembentukan etanol

Keterangan	Nilai (%)
Kadar etanol	4,03
Gula pereduksi	19,49
Efisiensi pembentukan etanol	20,67

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi etanol yang dihasilkan, didapatkan nilai efisiensi sebesar 20,67%. Efisiensi pembentukan etanol dihitung berdasarkan persentase perbandingan antara kadar etanol yang dihasilkan dengan total substrat gula yang dikonsumsi. Efisiensi pembentukan etanol menunjukkan seberapa banyak gula yang dapat dimanfaatkan oleh khamir untuk diubah menjadi etanol sebagai produk utama dari proses fermentasi.

Hasil perhitungan efisiensi pembentukan etanol masih cukup rendah. Rendahnya efisiensi produksi etanol dapat disebabkan karena gula pelepah kelapa sawit yang digunakan dalam proses fermentasi yang cukup rendah. Selain itu, adanya pembentukan produk samping selain etanol selama proses fermentasi yaitu gas CO₂. Menurut Azizah (2012), semakin meningkatnya waktu pada proses fermentasi, produksi gas CO₂ juga

semakin bertambah meskipun tidak signifikan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian, bahwa pada proses fermentasi selama 72 jam, kadar etanol yang dihasilkan semakin rendah karena semakin banyaknya gas CO₂ yang dihasilkan. Untuk meningkatkan efisiensi pembentukan etanol, maka perlu adanya optimalisasi proses pada setiap proses dalam pembuatan bioetanol pelepah kelapa sawit, mulai dari proses *pretreatment*, proses hidrolisis, dan proses fermentasi, sehingga kadar selulosa dapat meningkat lebih tinggi, gula yang dihasilkan pun juga lebih tinggi yang nantinya dapat mempengaruhi kadar etanol yang dihasilkan.

KESIMPULAN

1. Terdapat interaksi antara faktor berat *Saccharomyces cerevisiae* dan lama fermentasi terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Perlakuan terbaik adalah pada penambahan berat *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL dengan proses fermentasi selama 48 jam yang mampu menghasilkan kadar etanol sebesar 4,03%.
2. Faktor berat *Saccharomyces cerevisiae* berpengaruh nyata terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Berat *Saccharomyces cerevisiae* 0,65 gram/130 mL merupakan berat khamir terbaik dalam proses fermentasi. Faktor lama presentasi juga berpengaruh nyata terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Lama fermentasi terbaik adalah selama 48 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2012. *Statistik Minyak Bumi 2012*. Dilihat 25 Juli 2016. <http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Statistik/Statistik%20Minyak%20Bumi.pdf>.

- Anonim. 2013. *Kebijakan Pengembangan Kelapa Sawit Berkelanjutan*. Makalah Seminar Implementasi RSPO di Indonesia. Dirjen Perkebunan. Jakarta.
- Anindyawati, T. 2009. Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa untuk Produksi Bioetanol. *Bio Sains* 44(1):49- 56.
- Casey, G. P., Magnus, C. A., and Ingledew, W. M. 1984. High-Gravity Brewing: Effects of Nutrition on Yeast Composition, Fermentative Ability, and Alcohol Production. *Appl. Env. Microbiol.* 48(3): 639-646.
- Ge, L., Peng, W., and Haijin, M. 2011. Study on Saccharification Techniques of Seaweed Wastes for The Transformation of Ethanol. *Renewable Energy* 3(6): 84-89.
- Jeon, B.Y. 2007. Development of a Serial Bioreactor System for Direct Ethanol Production from Starch Using *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 12(5): 566- 573.
- Khodijah, S., dan Abtokhi, A. 2005. Analisis Pengaruh Variasi Persentase Ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) dan Waktu pada Proses Fermentasi dalam Pemanfaatan Duckweed (*Lemna minor*) sebagai Bioetanol. *Jurnal Neutrino* 7(2): 71-76.
- Lin, Y. and Tanaka, S. 2006. Ethanol Fermentation from Biomass Resources: Current State and Prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69(6): 627-642.
- Mailool, J. C., Molenaar, R., Tooy, D., dan Longdong, I. A. 2013. *Produksi Bioetanol dari Singkong (Manihot utilissima) dengan Skala Laboratorium*. *Jurnal Teknik Pertanian* 2(1): 1-11.
- Pasaribu, T. 2007. *Produk Fermentasi Limbah Pertanian sebagai Bahan Pakan Unggas di Indonesia*. *Wartazoa* 17(3):109-116.
- Putra I. N. W. 2011. Proses Treatment dengan Menggunakan NaOCl dan H₂SO₄ untuk Mempercepat Pembuatan Etanol dari Limbah Rumput Laut *Eucheuma Cottonii*. *Tesis*. Fakultas Teknis Universitas Udayana. Denpasar.
- Rani, P. C. 2016. Pengaruh pH dan Suhu Fermentasi Terhadap Produksi Etanol dari Hasil Hidrolisis Jerami Padi. *Skripsi*. Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang.
- Rani, P., Sharma, S., Garg, F. C., Raj, K., and Wati, L. 2010. Ethanol Production from Potato Flour by *Saccharomyces cerevisiae*. *Indian Journal of Science and Technology* 3(7):733-736.
- Rilek, N. M. 2016. Hidrolisis Lignoselulosa Hasil Pretreatment Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Menggunakan Asam (H₂SO₄) Pada Produksi Bioetanol. *Skripsi*. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang.
- Rizani. 2000. Pengaruh Konsentrasi Gula Reduksi dan Inokulum (*Saccharomyces cerevisiae*) pada Proses Fermentasi Sari Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) untuk

Produksi Etanol. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Malang.

pada Nira Aren (*Arenga pinnata*) Terhadap Bioethanol yang Dihasilkan. *Info Teknik* 16(2): 217-226.

Sugiarto, Y., Mahfut, L. N., Rilek, N. M., Atrinto, A. C. P., dan Khotimah, M. 2014. Pengaruh Frekuensi Ultrasonik dan Konsentrasi NaOH Pada Proses Pretreatment Bioetanol Pelepah Sawit. *Jurnal Teknologi Pertanian* 15(3):213-222.

Thamrin, S. 2012. *Sustainable Management of Degraded Peatland to Mitigate GHG Emissions and Optimized Crop Production*. Laporan Kerjasama Penelitian ICCTF Bappenas-BBSDLP ICCTF. Bogor.

Suyandra. D. I. 2007. Pemanfaatan Hidrolisat Pati Sagu (*Metroxylon, sp*) sebagai Sumber Karbon pada Fermentasi Etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae*. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Wheals, A. E., Basso, L., Alves, D. M., Amorim, H. V. 1999. Fuel Ethanol After 25 Year. *Trends Biotechnology*. 17(12): 482-487.

Syauqiah, I. 2015. Pengaruh Waktu Fermentasi dan Persentase Starter

Zahara, N. C. 2011. Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Prouksi Energi Listrik. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.

